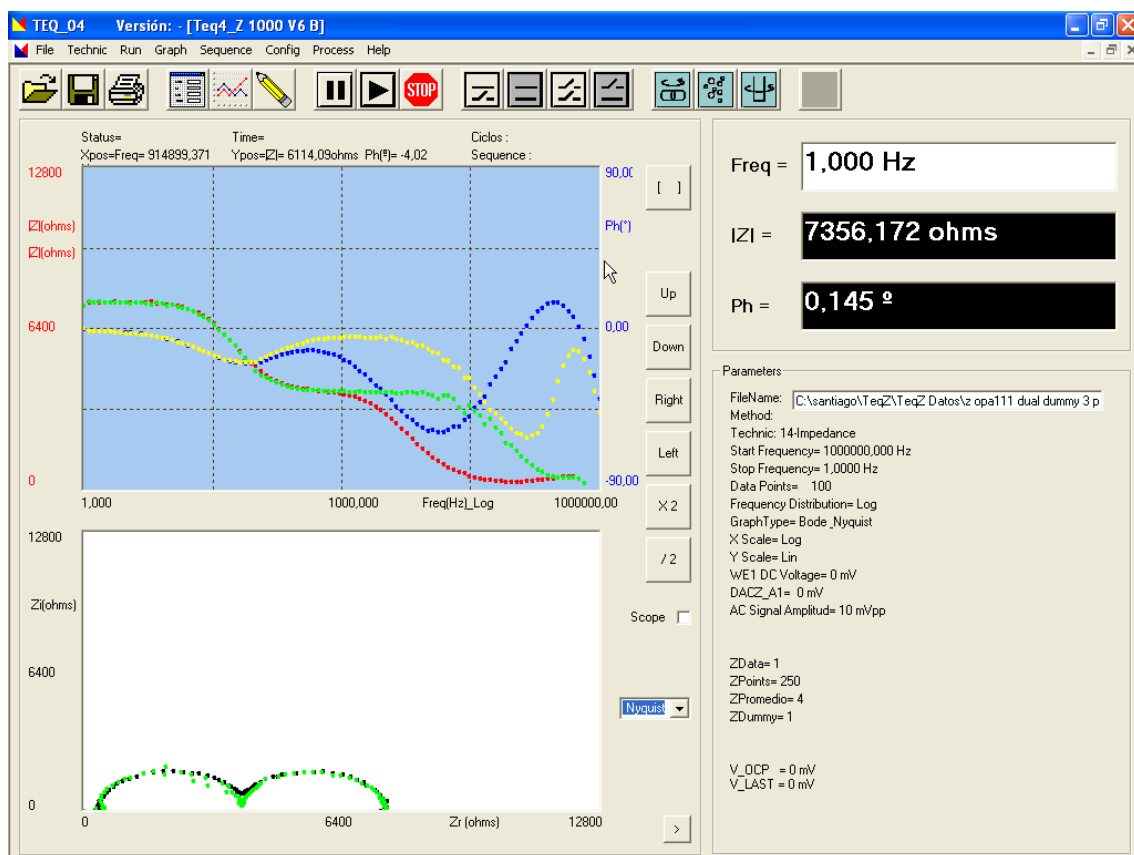


Teq4_Z.

Analizador de Impedancia.



Ing. Santiago Sobral
ssobral.teq@gmail.com

Indice.

Introducción.	4
Descripción del equipo.	5
Hardware.	5
Parámetros.	7
Transmisión	8
Start Frequency	8
Stop Frequency	8
Frequency Distribution	8
Frequency Data Points	9
Signal Amplitud	9
Signal Offset	9
Teq4 WE1 voltage	10
Recepción	11
Current Range	11
Filtro	11
Current Offset	11
Current Gain (PGA_ I)	12
Voltage Offset	12
Volatge Gain (PGA_ V)	12
Gráficos	14
Tipo. (Bode, Nyquist, ZrZi vs Freq,)	18
Modo Escala Eje X (Lin, Log)	18
Xmin. X left	18
Xmax. X Right	18
Modo Escala Eje Y (Lin, Log,)	19

Ymin. Y botton	19
Ymax. Y top	19
Medición con cursores sobre pantalla	19
Overlay: Superposición de graficos en pantalla.	19
Como hacer un experimento.	20
Ejemplos	23
Simulación y Modelado.	23
Test usando Dummy Cell	23
Especificaciones técnicas.	24
Apéndice	25
Teoría.	25

Introducción.

El teq4 Z es un módulo analizador de impedancia (hardware y software) diseñado para ser empleado con los potencióstatos Teq4.

El mismo puede incluirse como un módulo opcional dentro del potencióstato Teq ó adquirirse como un módulo completamente independiente.

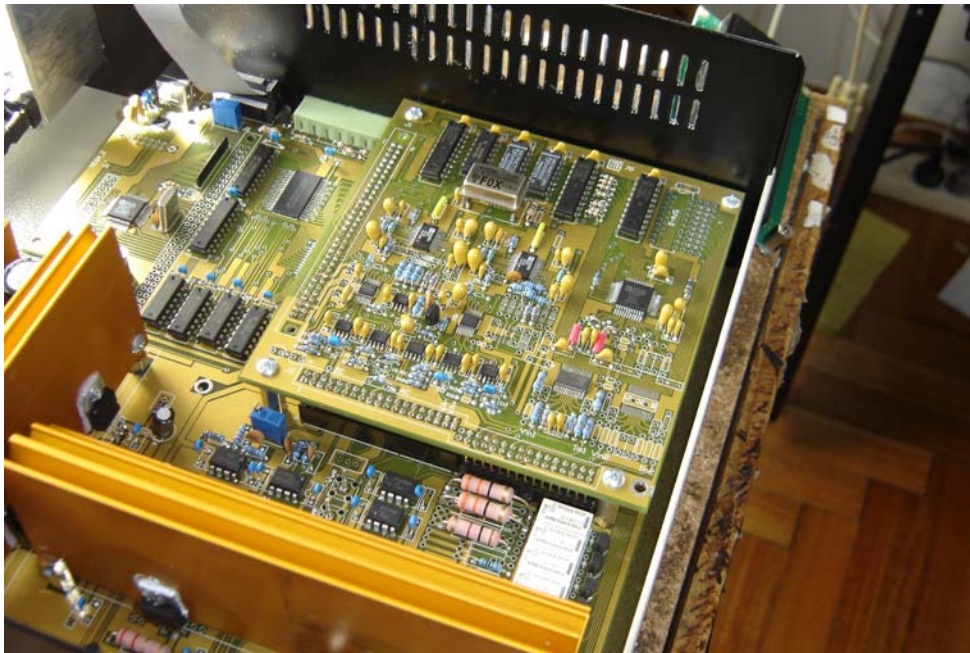


Fig. 1 Placa Módulo Analizador de Impedancia instalada
en potencióstato Teq4

Descripción del equipo

Hardware.

El analizador de impedancia está compuesto por un canal generador de señal digital (DSG) con frecuencia, amplitud y offset variables y dos canales de recepción simultánea con controles de offset y ganancia independientes, tal como aparece en el siguiente diagrama en bloques (Fig.1) donde se muestra también la conexión con el potencióstato (parte del diagrama indicada en gris).

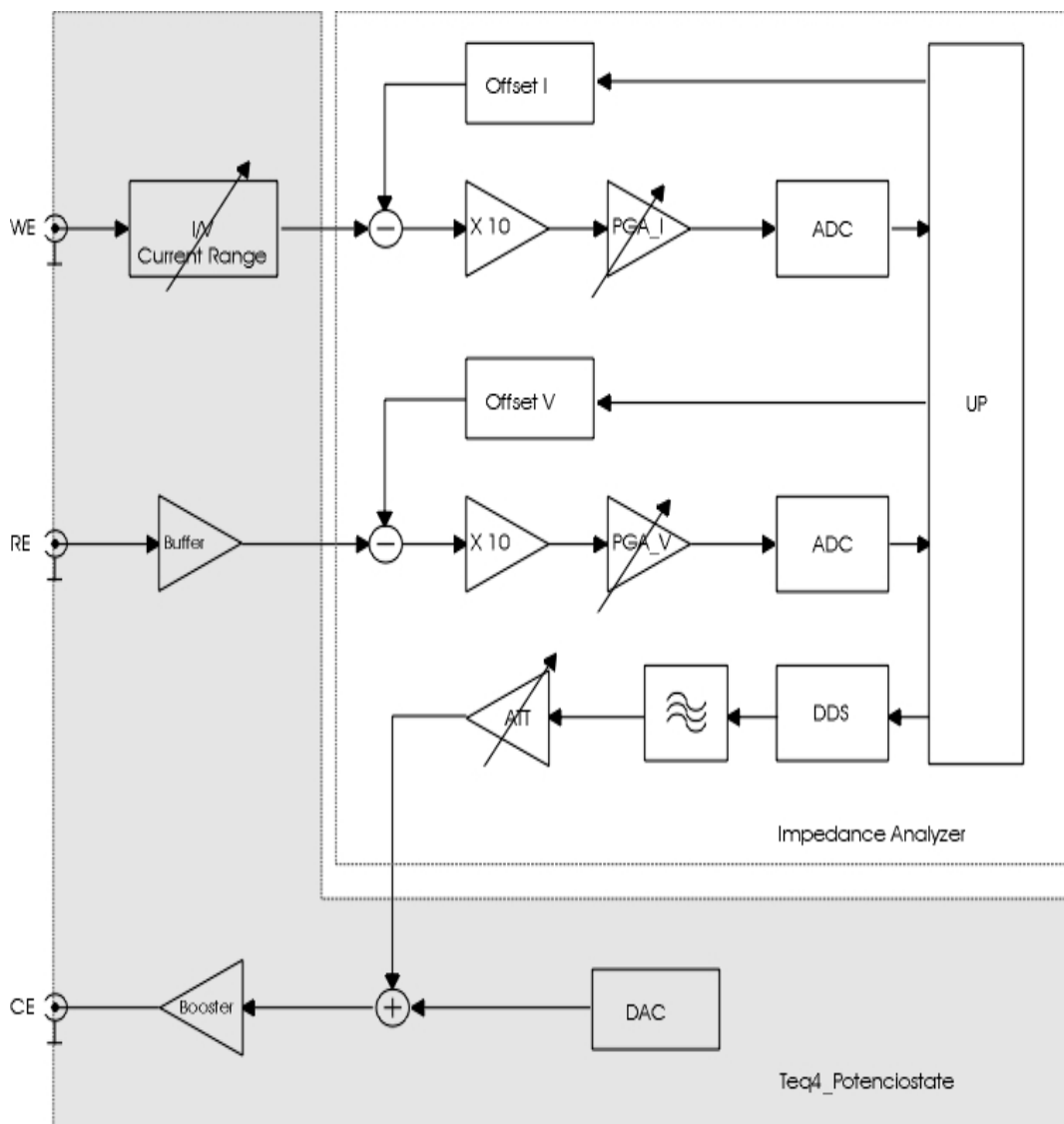


Fig.1

El módulo analizador de impedancia puede estar incluido como una placa opcional interna dentro del potenciómetro Teq4 (Fig.2) o como un módulo completamente externo e independiente .

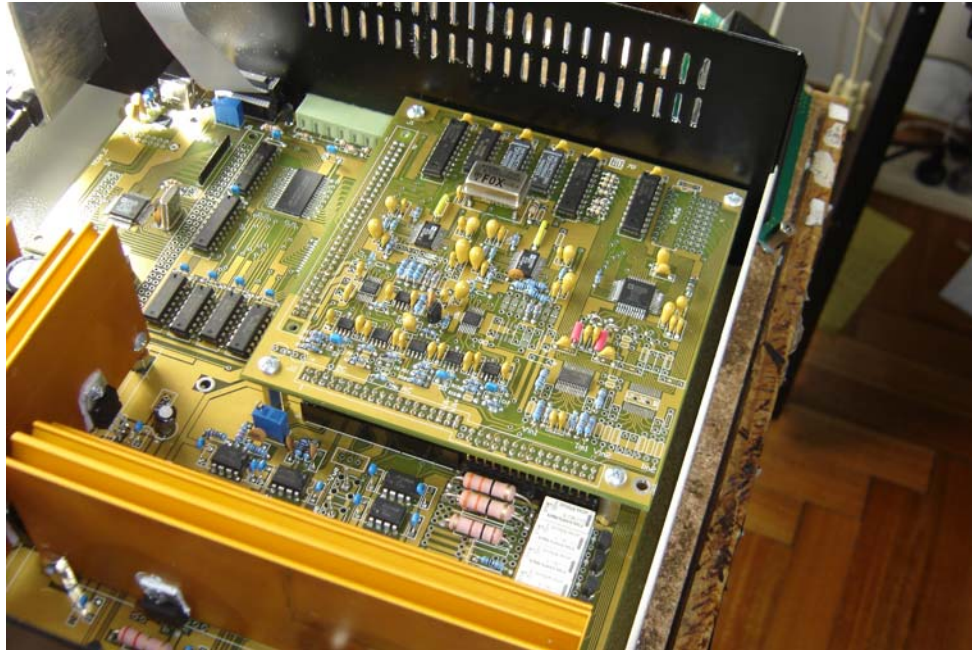


Fig.2 Analizador de Impedancia. Módulo Interno

Las siguientes figuras muestran en detalle los diagramas en bloques de los módulos que conforman el generador digital de señal (Fig.3) y la etapa de recepción (Fig.4).

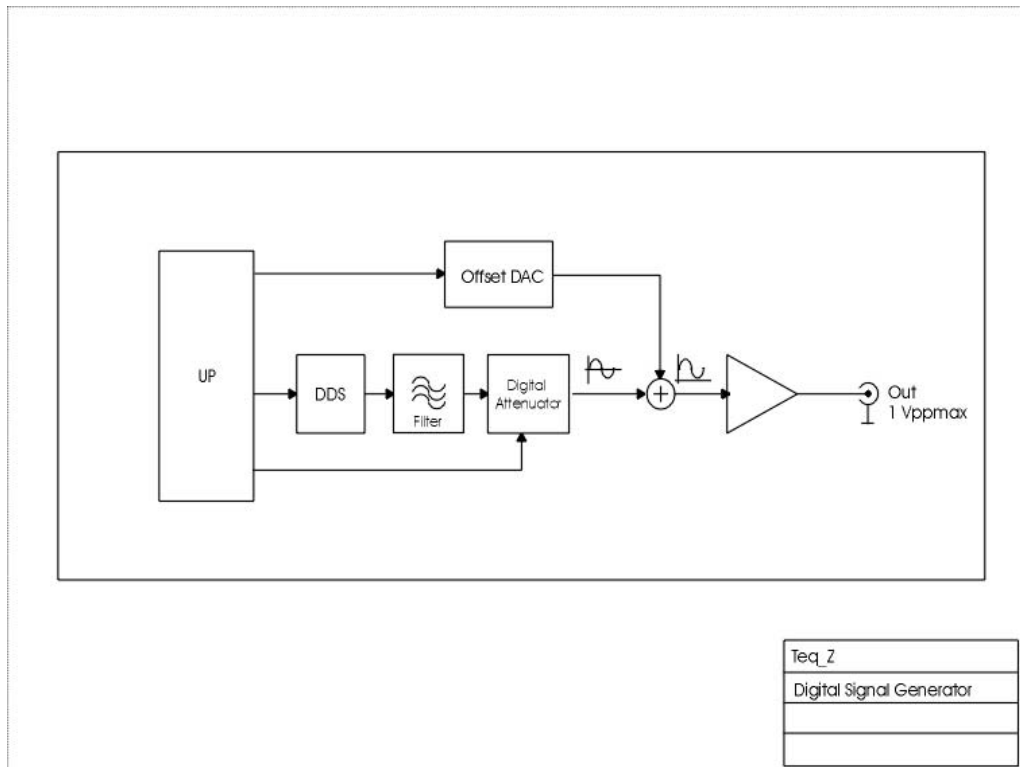


Fig.3 Generador Digital de Señal

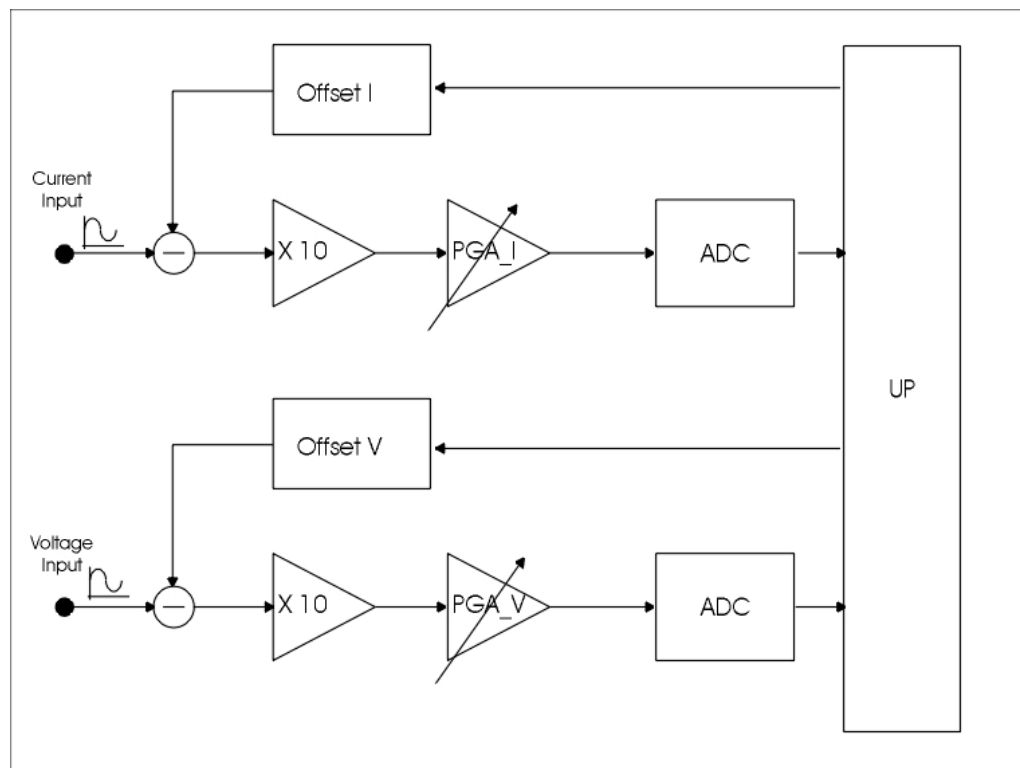


Fig.4 Etapa de Recepción.

Parámetros.

La siguiente figura (Fig.5) muestra el formulario de parámetros del analizador de impedancia.

Freq(Hz)	Ioffs(mA)	Curr Range	PGA I	Voffs(mV)	PGA V
1800,000	0,00000000	1	4	0,000	4
1600,000	0,00000000	1	4	0,000	4
1400,000	0,00000000	1	4	0,000	4
1200,000	0,00000000	1	4	0,000	4
1000,000	0,00000000	1	4	0,000	4
800,000	0,00000000	1	4	0,000	4
600,000	0,00000000	1	4	0,000	4
400,000	0,00000000	1	4	0,000	4
200,000	0,00000000	1	4	0,000	4
1,000	0,00000000	1	4	0,000	4

Fig.5 Formulario de parámetros de impedancia.

Los siguientes parámetros corresponden a las variables sobre las que el usuario tiene control.

En algunas de ellas, el usuario puede seleccionar entre la operación manual o automática (Fix or Autorange), a fin de realizar un experimento

Parámetros de Transmisión (DSG).

Start Frequency:

Frecuencia a la que se inicia el barrido de frecuencia (expresada en Hz).

El rango de frecuencias va de 0.002Hz a 1000000 Hz.

Stop Frequency:

Frecuencia a la que finaliza el barrido de frecuencia (expresada en Hz)
El rango de frecuencias va de 0.002Hz a 1000000 Hz.

Nota: Start Frequency y Stop Frequency pueden definirse en el mismo valor y el equipo medirá a una frecuencia fija. En este caso aparece a la derecha una ventana adicional donde el usuario puede definir la velocidad de adquisición.

Dado que el tiempo requerido para adquirir y procesar la señal de impedancia es variable (depende de la frecuencia, la cantidad de recalibraciones en caso de autorango, etc.), el equipo intentará cumplir con el valor **Sec/point** ingresado por el usuario, pero en caso de no ser posible, adquirirá a la máxima velocidad para una dada condición. Los datos de impedancia en función del tiempo contendrán el valor real del instante de adquisición.

Frequency Distribution:

Modo en el que se distribuyen los puntos de frecuencia a lo largo del barrido.
El usuario puede seleccionar un barrido:

Lineal: el incremento de frecuencia es siempre igual
 $\text{Paso} = (\text{StopFreq} - \text{StartFreq}) / \text{Frequency data points}$.

Logarítmico: el incremento en frecuencia sigue una función logarítmica (mayor concentración de puntos a bajas frecuencias).

Sqr: El incremento en frecuencia sigue una función Raíz Cuadrada (mayor concentración en altas frecuencias)

Frequency Data Points:

Cantidad total de puntos a adquirir en el espectro.

Signal Amplitud:

Define la amplitud expresada en mV. del valor pico a pico de la señal de excitación.

Rango: 0 a 1000 mVpp.

Resolución: 0.1mV.

Signal Offset:

Señal de continua expresada en mV que se suma a la señal de alterna para generar la señal de excitación.

Este parámetro no está disponible en los equipos con el módulo analizador de impedancia On Board

Rango: -3000mV a +3000mV.

Resolución: 0.1mV.

WE1 voltage:

Es el voltaje expresado en mV que aplica el potencióstato Teq4 al electrodo de trabajo.

Este parámetro solo aparece en los equipos que tienen el módulo analizador de impedancia on board.

Esta señal se suma a la señal **Signal Offset** del punto anterior

Rango: -3000mV a +3000mV.

Resolución: 0.1mV.

Vs:

A la derecha del voltaje **WE1 voltage** aparece un selector que permite al usuario definir con respecto a que se realiza la aplicación del potencial del electrodo de trabajo WE1. (vs V_REF, vs V_OCP, vs V_LAST).

Vs V_REF: es la medición standard en la que el potencial aplicado al WE1 es directamente el valor ingresado por el usuario y medido respecto del electrodo de referencia Vref.

Vs V_OCP: en este caso el potencial aplicado al WE1 es el ingresado por el usuario pero respecto del potencial de circuito abierto (V_OCP), es decir que el potencial aplicado será : WE1_voltage + V_OCP.

Al seleccionarse esta opción, automáticamente se genera una secuencia de pretratamiento (se habilita Pretreatment Enable) en la que durante el evento 2 se realiza la medición del voltaje en condición de circuito abierto y luego se ajustan también de forma automática los voltajes aplicados

Vs. V_LAST: en este caso el potencial aplicado al WE1 es el valor ingresado por el usuario WE1_voltage, pero respecto del último punto de potencial adquirido en el experimento previo. $WE1 = WE1_voltage + V_LAST$.

Los valores actuales V_OCP y V_LAST se muestran en el recuadro de parámetros, en la parte inferior derecha de la pantalla.

Recepción

La Fig. 6 muestra un diagrama esquemático del bloque de recepción de dos canales con ajustes independientes y adquisición simultánea.

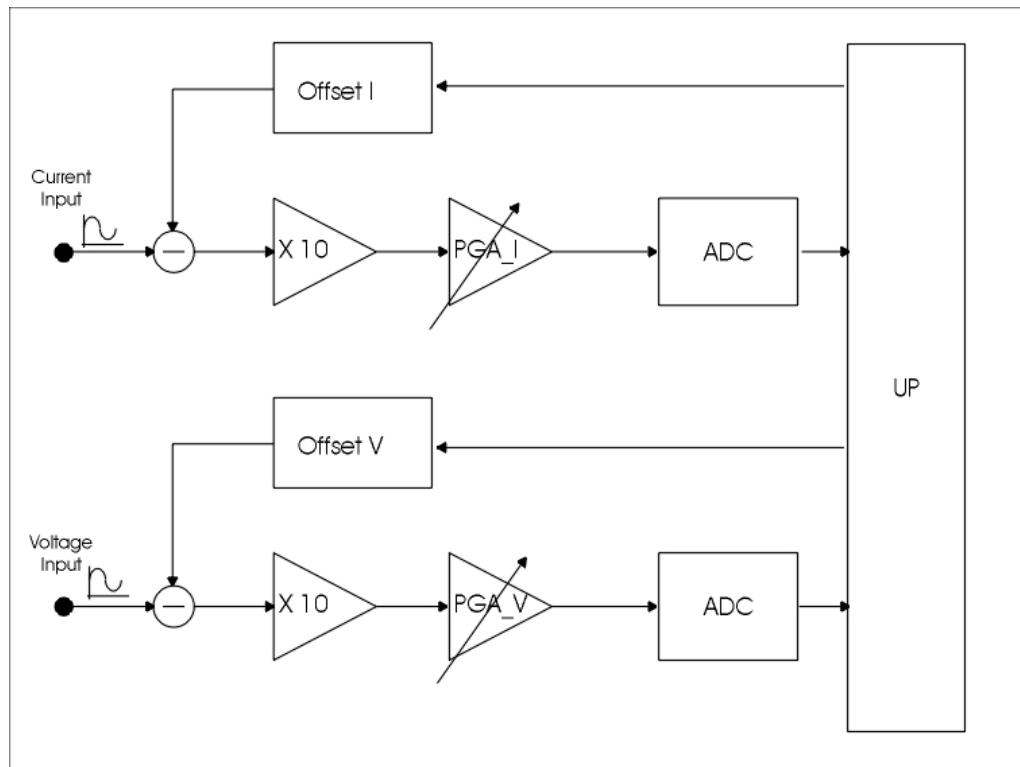


Fig.6 Etapa de Recepción.

Los siguientes parámetros se aplican al control de la etapa de recepción:

Current Range:

Define el rango de corriente seleccionado para el conversor corriente/tensión del potenciómetro,

Solo se aplica al módulo analizador de impedancia interno incluido en el Teq4, donde es posible también el control del potenciómetro.

El **Current Range** puede ser seleccionado manualmente por el usuario o seteando el modo PreScan, el programa buscará de manera automática el rango de corriente adecuado a cada tramo del barrido.

Current Offset: (offset I)

Este valor es un voltaje que se suma en la entrada del canal de corriente (CH3) (salida del conversor corriente/tensión si el modulo es interno) a fin de compensar el valor de DC de la señal entrante y de esta forma poder obtener un mayor rango dinámico para la señal de alterna.

El Current Offset (**Offset_I**) puede ser seleccionado manualmente por el usuario o seteando el modo Auto, el programa buscará de manera automática el Current Offset adecuado a cada tramo del barrido.

Current Gain (PGA_I):

Valor correspondiente al rango de ganancia seleccionado para la entrada del canal CH3 (Current Input).

Rangos de ganancia : 0= x 0.08, 1= x 0.16, 2= x 0.32, 3= x 0.64 ,4= x 1.25, 5= x 2.5, 6= x 5.0, 7= x 10.0).

El Current Gain (**PGA_I**) puede ser seleccionado manualmente por el usuario o seteando el modo PreScan, el programa buscará de manera automática el Current Gain adecuado a cada tramo del barrido.

Voltage Offset (Offset V):

Voltaje en mV que se suma en la entrada del canal de Tensión (CH4) (conectado a Vref para el módulo interno) a fin de compensar el valor de DC de la señal entrante y de esta forma obtener un mayor rango dinámico para la señal de alterna.

El Voltage Offset (**Offset_V**) puede ser seleccionado manualmente por el usuario o seteando el modo PreScan, el programa buscará de manera automática el Voltage Offset adecuado a cada tramo del barrido.

Voltage Gain (PGA_V):

Valor correspondiente al rango de ganancia seleccionado para la entrada del canal CH4 (Voltage Input).

Rangos de Ganancia: 0= x 0.08, 1= x 0.16, 2= x 0.32, 3= x 0.64 ,4= x 1.25, 5= x 2.5, 6= x 5.0, 7= x 10.0.

El Voltage Gain (**PGA_V**) puede ser seleccionado manualmente por el usuario o seteando el modo PreScan, el programa buscará durante el PreScan y de manera automática el Voltage Gain adecuado a cada tramo del barrido.

AutoRange / Fixed / Table:

Permite definir al usuario el modo en que se ajustan los valores previamente mencionados (Current Range, Current Offset, Current Gain PGAI, Voltage Offset, Voltage Gain PGAV).

Auto Range: El equipo los define de manera automática y los va ajustando en tiempo real durante la adquisición para tratar de mantener siempre las condiciones optimas de medición.

Al iniciar la corrida el equipo evalua los offsets, y modifica las ganancias hasta encontrar el mejor valor para la frecuencia Start.

Se recomienda al usuario definir como StartFreq la frecuencia mayor, de esta forma, el proceso de inicio de la adquisición será más rápido. (En caso de que StartFreq fuera muy baja, menor que 1 Hz, el proceso de recalibración inicial podría demorar varios minutos).

Fixed: Permite al usuario ingresar los valores manualmente. Los mismos se mantienen fijos a lo largo de toda la adquisición.

Table: Habilita o deshabilita la aplicación de la tabla de parámetros.

La corrida del espectro tomara la información y aplicará los parámetros en cada tramo del espectro tal como figuran en la tabla.

Table:

La tabla de parámetros ubicada en la parte superior derecha del formulario de parámetros de Impedancia, contiene los datos especificados para cada tramo de frecuencia (10 tramos). La misma puede ser generada de manera automática habilitando la opción **PreScan** o ser completada o modificada manualmente por el usuario.

Initila / Final Cell condition:

Definen la condición de la celda al inicio y fin de la corrida.

Pretreatmment Enable:

Habilita la solapa y la ejecución de los eventos de pretratamiento. Si

Pretreatmment Enable es dehabilitada, no se ejecutan los eventos de pretratamiento aunque los mismo tenga valores distintos de cero.

External Input Enable:

Habilita la entrada de la señal de modulación externa conectada al panel frontal a través de la entrada indicada **Ext.Mod In**.

Gráficos.

Los resultados de los experimentos llevados a cabo con el analizador de impedancia pueden presentarse en distintos formatos: diagrama de Bode, Nyquist (Z vs Z), Admitancia (Y vs Y), etc.

La siguiente figura (Fig. 7) muestra un diagrama de Bode, donde se grafica el módulo de la impedancia en función de la frecuencia.

A menudo suele expresarse el eje de frecuencia en escala logarítmica.

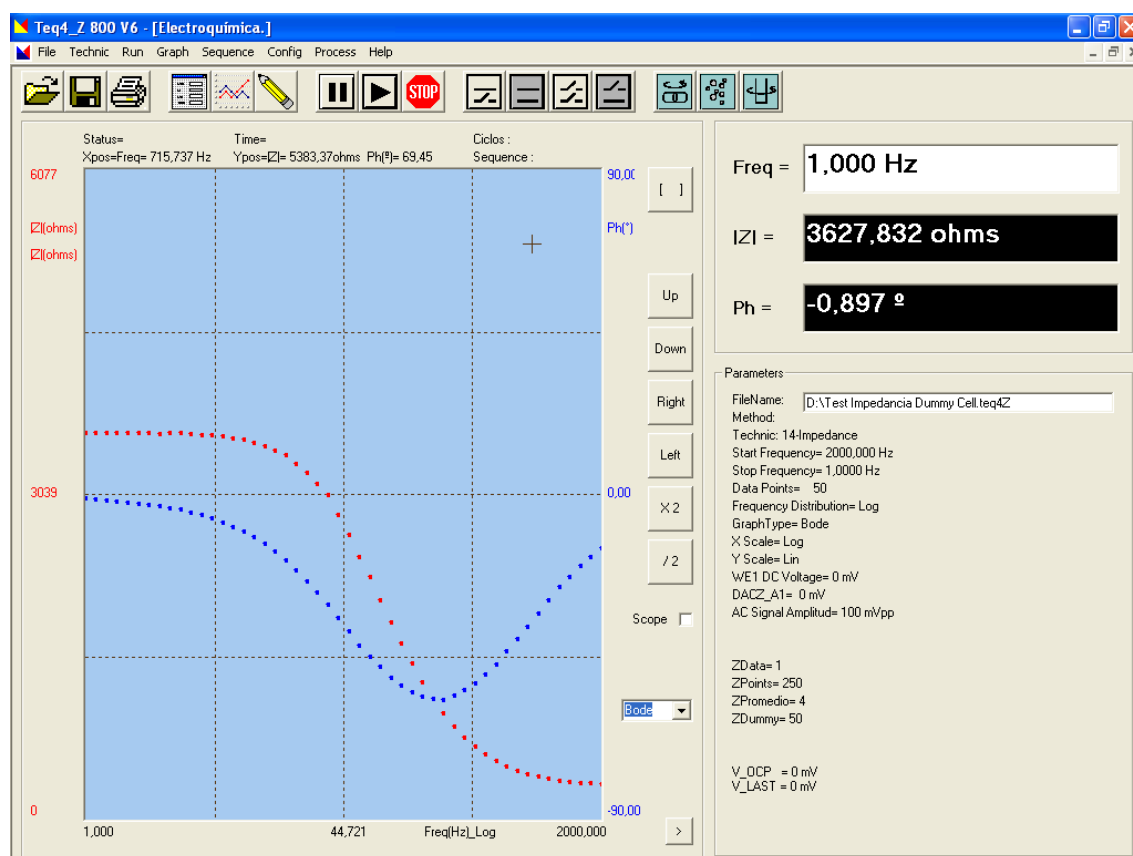


Fig.7 Diagrama de Bode.

Otra forma de representación es el diagram de Nyquist (Fig. 8) o Z_i vs Z_r (Fig. 9), en el que se grafica en el eje Y el valor correspondiente a la parte imaginaria de la impedancia Z_i y en el eje X el valor correspondiente a la parte real Z_r .

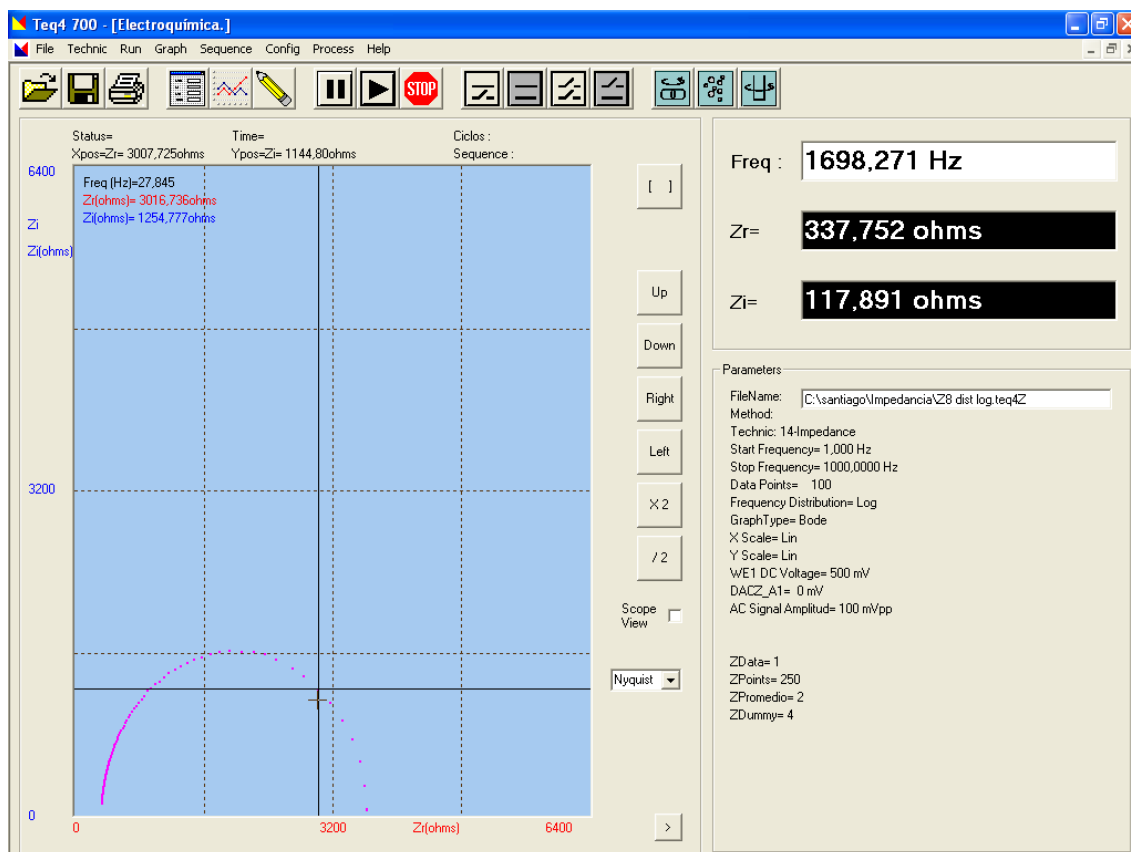


Fig.8 Diagrama de Nyquist

Otra forma posible de representacion es graficar la impedancia Z_r y Z_i (parte real e imaginaria de la impedancia respectivamente) en funcion de la frecuencia como se muestra en la siguiente figura (Fig.9).

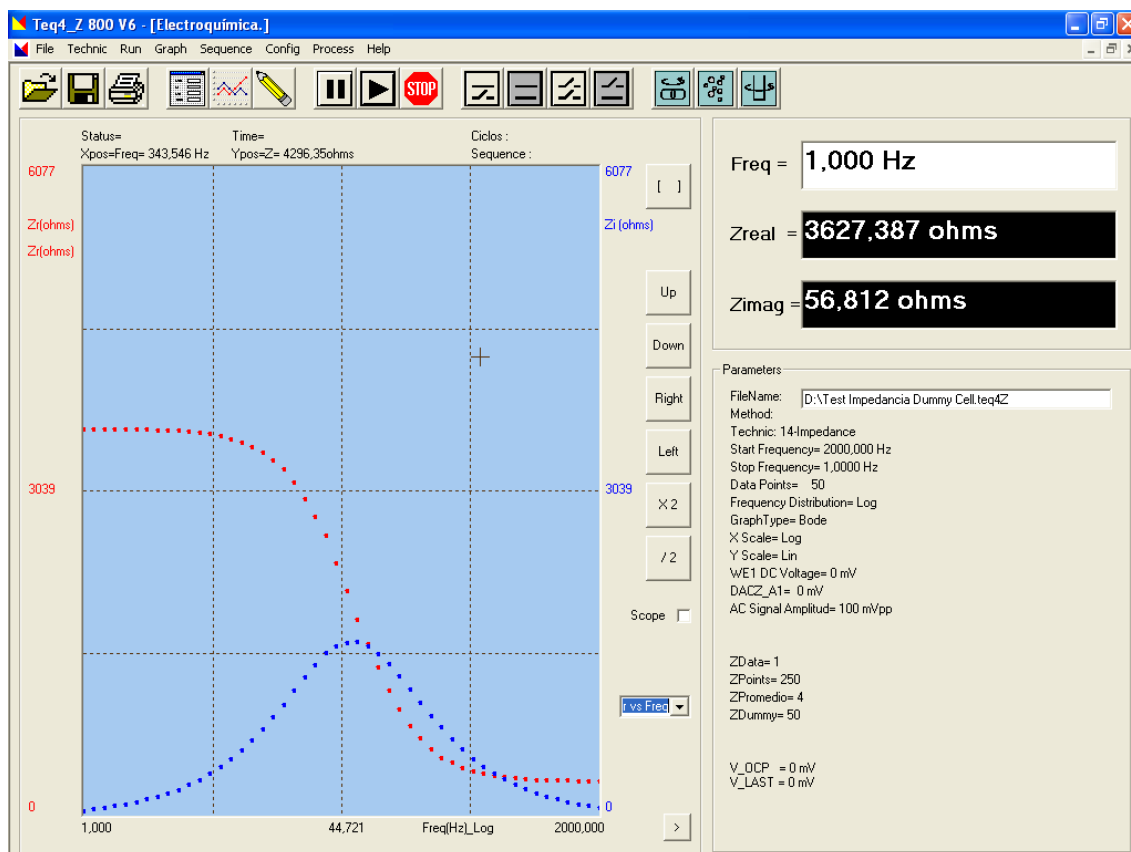


Fig.9 Diagrama Zi-Zr vs Freq.

Otra posible alternativa gráfica es la representación simultanea del gráficos de Bode o $ZiZr$ vs Freq y el gráfico de Nyquist lo que facilita las mediciones y el seguimiento de los gráficos en forma mas sencilla. (Fig.10)

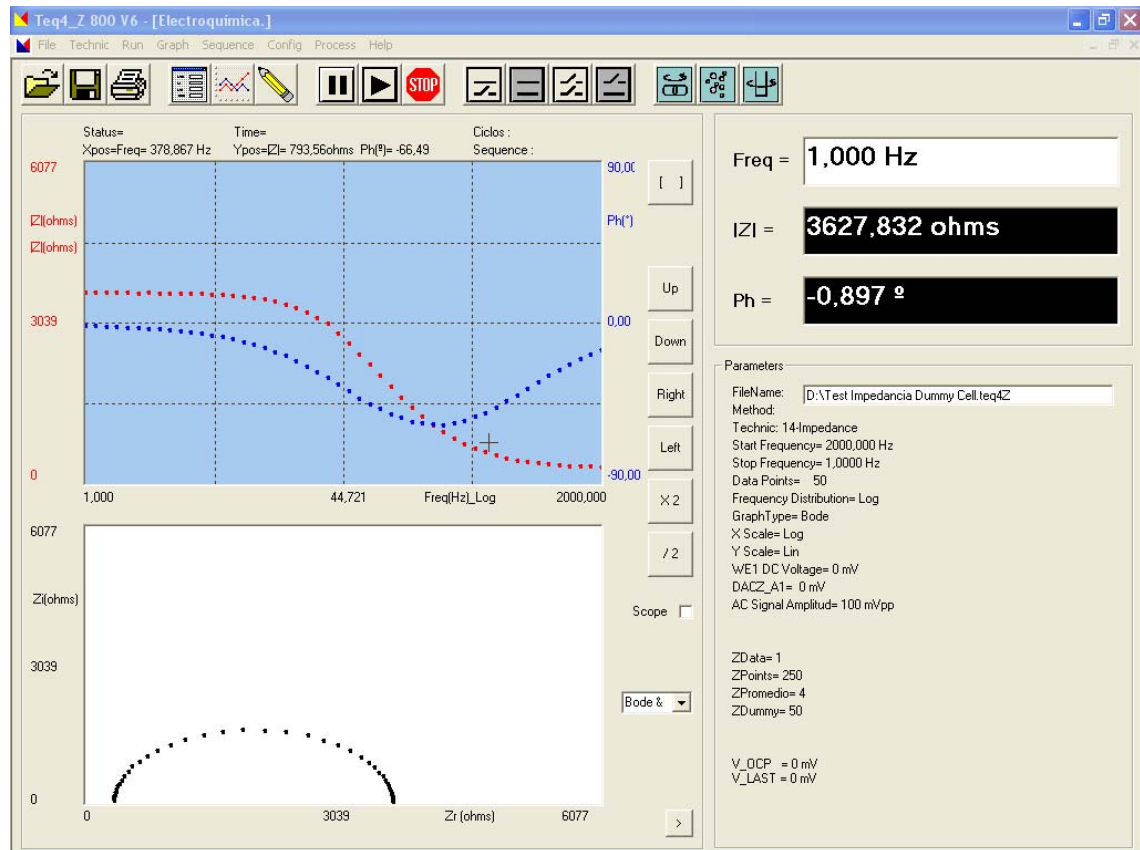


Fig.10 Diagramas de Bode y Nyquist.

Graph Mode (Bode, Nyquist, $ZrZi$ vs Freq, etc):

Selecciona el tipo de gráfico a mostrar durante la adquisición. De todas maneras, siempre es posible visualizar cualquier tipo de grafico offline, a partir de los datos previamente adquiridos.

Modo Escala Eje X (Lin, Log, semiLog):

Define la escala gráfica del eje X.

Xmin. X left:

Define el límite izquierdo del gráfico. También aquí es aplicable el modo Auto, que asigna los valores en función de los parámetros de corrida asignados.

Xmax. X Right:

Define el límite derecho del gráfico. También aquí es aplicable el modo Auto, que asigna los valores en función de los parámetros de corrida asignados.

Modo Escala Eje Y (Lin, Log,):

Define la escala gráfica del eje Y.

Ymin. Y bottom:

Define el límite inferior del gráfico. También aquí es aplicable el modo Auto, que asigna los valores en función de los parámetros de corrida asignados.

Ymax. Y top:

Define el límite superior del gráfico. También aquí es aplicable el modo Auto, que asigna los valores en función de los parámetros de corrida asignados.

Medición en pantalla: Show Messure Line

Presionando el botón derecho del mouse sobre la venta del gráfico (sobre el grafico superior si estamos en el modo de doble gráfico), se accede a un menú contextual, sobre el que pueden seleccionarse diferentes opciones.

La opción **Show Messure Line** genera sobre la ventana gráfica una línea de medición, que al ser desplazada sobre el gráfico permite realizar mediciones sobre las curvas, que son mostrados en la parte superior izquierda del mismo

La opción es particularmente útil en el caso de gráficos dobles, donde por ejemplo, es posible desplazarse sobre el gráfico de Bode y simultáneamente y de forma automática, ubicar la posición correspondiente sobre el gráfico de Nyquist.

Overlay: Superposición de graficos en pantalla.

Mediante el comando Overlay (menu/Graphics/Overlay) o emplenado el botón...., se pueden superponer graficos de corridas previas para comparar. Los graficos superpuestos se grafican en color verde (Modulo o Zr o diagrama de Nyquist) y amarillo (Fase o Zi).

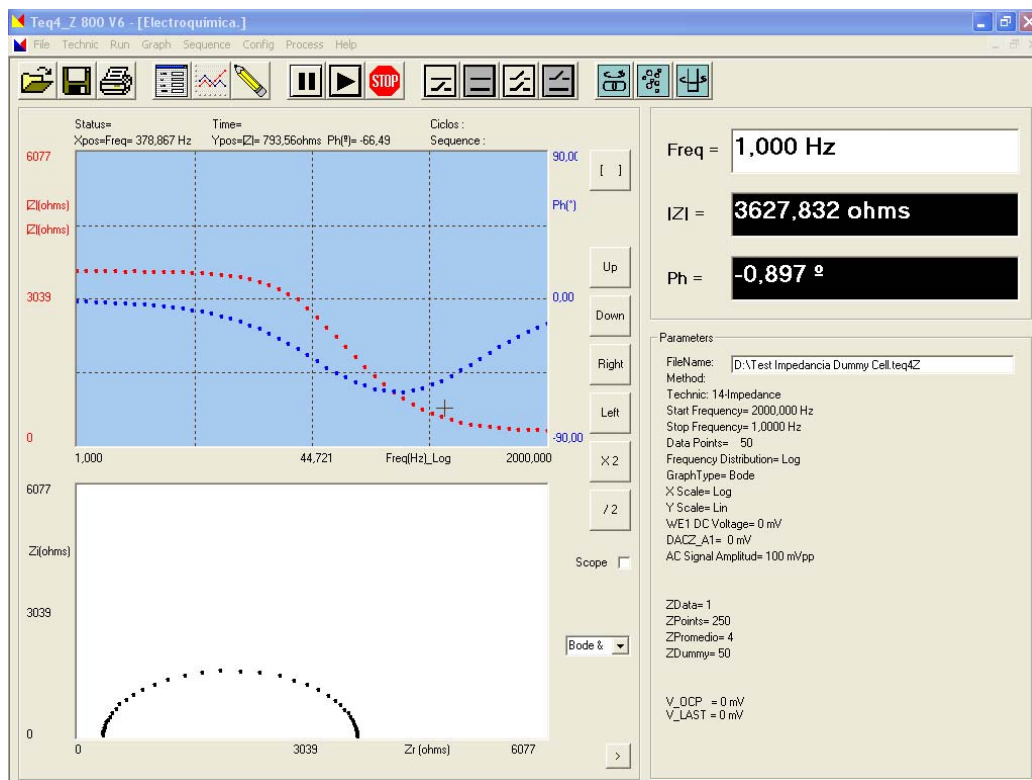


Fig. Medición de valores en pantalla mediante el empleo del cursor.

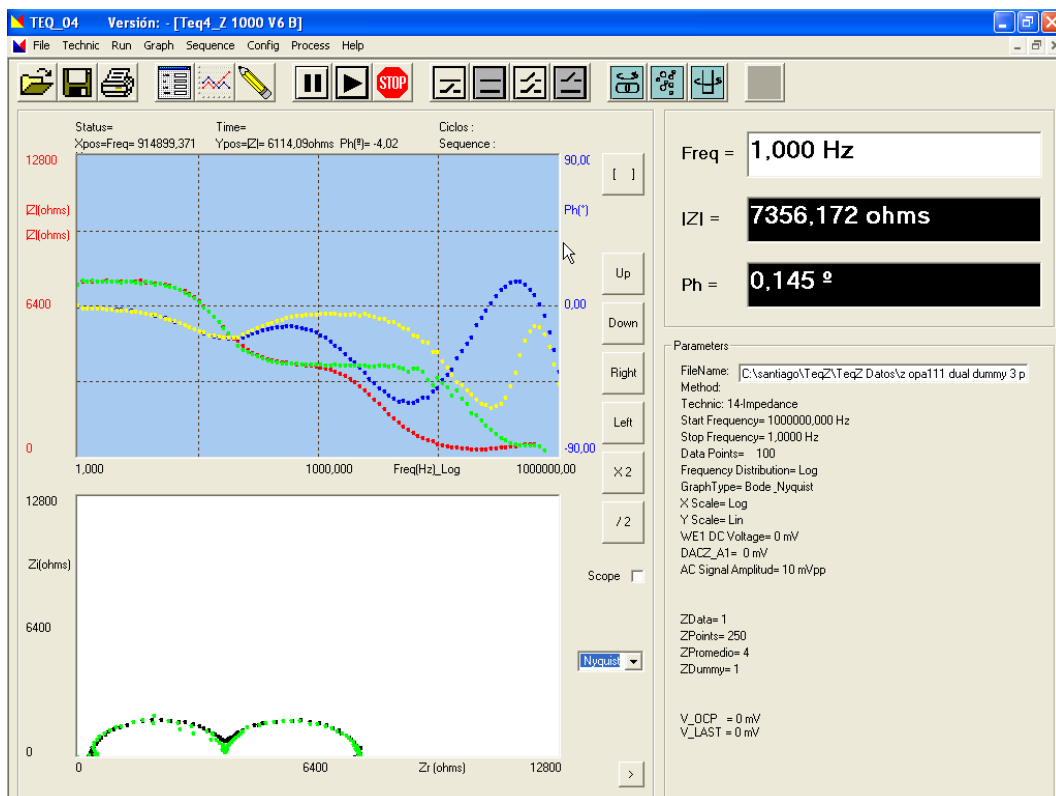


Fig. Superposición de gráficos

Como hacer un experimento de impedancia.

1-Ingresa los parámetros básicos de corrida

2-PreScan. Evaluación automática de rangos (ganancia y offset).

3-Corrida del experimento.

4- Salvar datos.

5- Exportar datos.

1-Ingresa los parámetros básicos de corrida

Abrir el formulario de parámetros de impedancia (ir a Menú, Technics y seleccionar Impedancia).

Completar el formulario con los siguientes parámetros.

- Start Frequency: Frecuencia Inicial: Valor inicial del rango de frecuencia a medir.
- Stop Frequency: Frecuencia Final: Valor final del rango de frecuencia a medir.
- Frequency Distribution: Forma de distribución de los puntos a adquirir en el rango de frecuencia StartFreq- StopFreq (lineal, logarítmica, raíz cuadrada (sqr)).
- Frequency Data Points : Cantidad de Puntos a adquirir en el intervalo StartFreq- StopFreq.
- AC Signal Amplitud (mVpp): Amplitud pico a pico de la señal sinusoidal (AC) aplicada
- DC Signal Offset ó DC WE1 voltage (mV) : Amplitud de la señal de continua (DC) que se suma a la señal de AC.
- AutoRange/ Fix: Seleccionar el modo AutoRange o Fix

3- Corrida del experimento.

Para iniciar una corrida ir a Menu/Run o presionar el boton Run de la barra de botones.

4- Salvar datos.

Finalizada la corrida, los datos presentes en pantalla pueden salvarse empleando el comando correspondiente.

Se abre un formulario (Fig 11) que permite al usuario definir que datos desea salvar y con que formato.

Junto con los datos se salvan todos los parámetros de corrida, sirviendo esto como base para futuros experimentos.

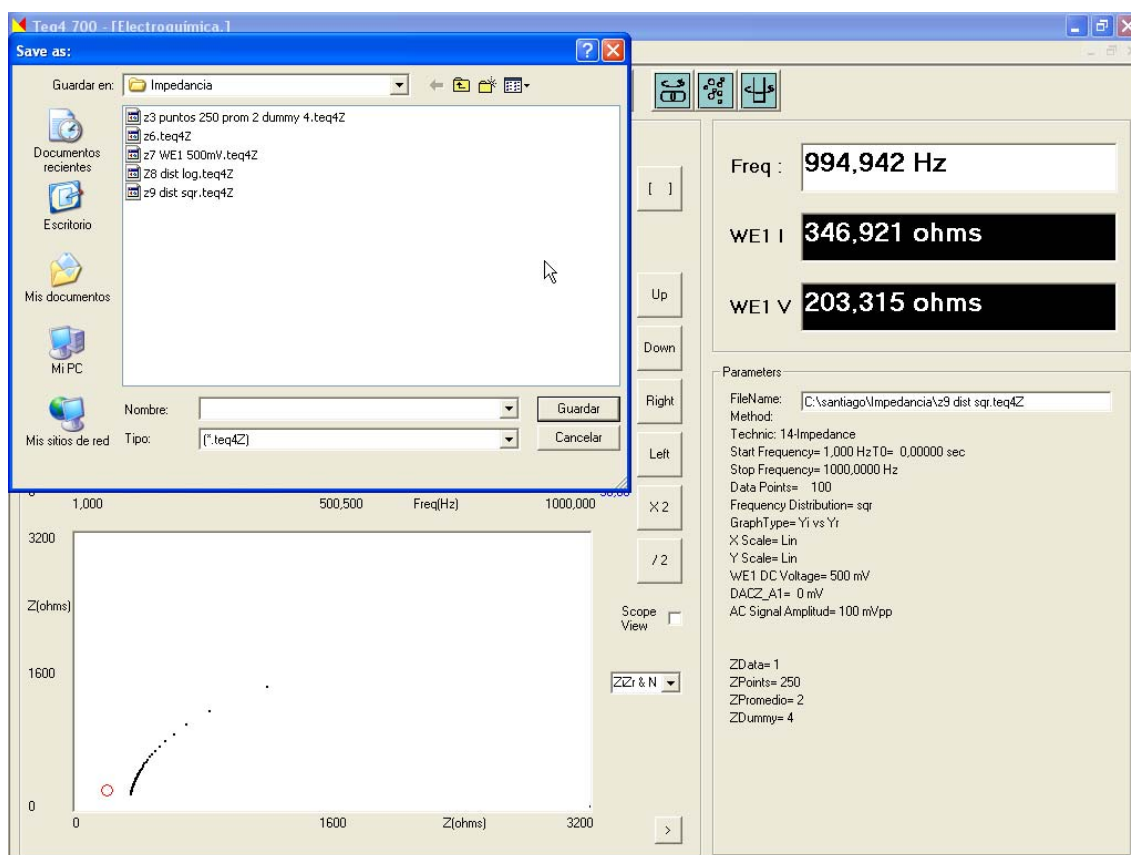


Fig.11 Salvar Datos

5- Exportar datos.

En caso que el usuario desee emplear los datos para su posterior análisis con otros programas (P.ej. SigmaPlot, Origin Excel, etc) los datos pueden ser exportados en formato Ascii.

Al ejecutar el comando Exportar se abre la ventana correspondiente (Fig. 12) donde el usuario puede definir el nombre y ubicación del archivo a crear y los datos que desea exportar

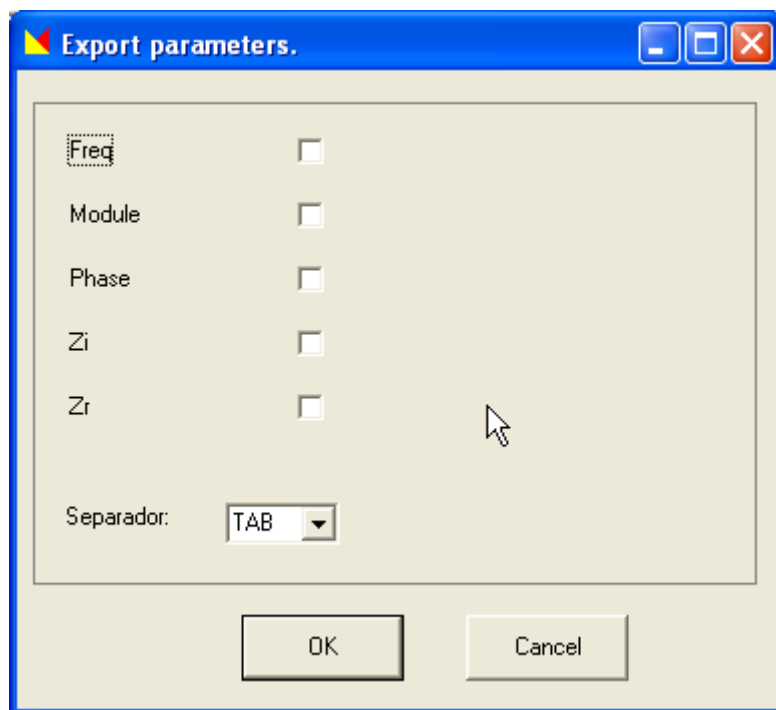


Fig.12 Formulario Exportar

Ejemplos

Simulación y Modelado.

Test usando Dummy Cell.

A efectos de poder controlar el normal funcionamiento del analizador de impedancia, se emplea la dummy cell provista con el equipo (ver Manual de Dummy Cell).

Test 1. Dummy cell con una sola constante RC

Test 2. Dummy cell con dos constantes RC.

Test 3. Ancho de banda en funcion del rango.

Especificaciones Técnicas

Frecuencia máxima de salida: 1 Mhz

Frecuencia Mínima de salida : 0.002 Hz

Resolución de frecuencia: 0.001 Hz

Amplitud máxima de salida: 1Vpp

DC offset de señal de salida : +- 2.5V

Canales de entrada: 2

Impedancia de entrada: 3,3 Kohms.

Amplitud máxima señal de entrada: 1Vpp

DC máximo señal de entrada: +- 5V

Rangos de ganancia entrada (PGAI y PGAV): 0 a 7 (0= x 0.08 : 1000mVpp, 1= x 0.16 : 500mVpp, 2= x 0.32 : 250mVpp, 3= x 0.64 : 125mVpp, 4= x 1.28 : 62mVpp, 5= x 2.5 : 30 mVpp, 6= x 5 : 12mVpp, 7= x 10 : 6mVpp).

Apéndice

Teoría.

A partir de la vieja y conocida ley de ohms, podemos describir la habilidad de un elemento de circuito para resistir el paso de una corriente eléctrica:

$$R = E / I$$

Donde:

R: Resistencia (ohms)

E: tensión (volts)

I: Corriente (Amperes)

Dicha ecuación supone consideraciones ideales, tales como:

- Linealidad de la ley a cualquier nivel de tensión y/o corriente.
- Valor de la resistencia independiente de la frecuencia.
- Mantenimiento de la fase entre tensión y corriente igual a cero para cualquier valor de frecuencia.

Estos valores ideales, se contraponen con la experiencia del mundo real. Es así, que para poder explicar los fenómenos reales, debemos apelar a relaciones más complejas, lo que nos lleva a reemplazar el concepto simple de resistencia por la variable compleja Impedancia.

Se define entonces:

$$Z = V / I$$

Donde Z, V e I son valores complejos.

La impedancia electroquímica se mide aplicando a una celda un potencial alterno sinusoidal, midiendo la corriente eléctrica que circula por la misma y analizando la información en términos de valores complejos como una suma de sinusoides (serie de Fourier).

Fig.

Aplicando niveles de excitación (amplitud del voltaje aplicado) pequeños, podemos suponer al sistema dentro de un rango lineal o, pseudo lineal y por

lo tanto la respuesta a la aplicación de un voltaje sinusoidal será una corriente sinusoidal de igual frecuencia y corrida en fase (Fig). descriptos por las siguiente ecuaciones:

$$\begin{aligned} E_t &= E_0 \cos(\omega t) && \text{señal de excitación} \\ I_t &= I_0 \cos(\omega t + \phi) && \text{Corriente resultante} \end{aligned}$$

Por lo tanto podremos expresar la impedancia como

$$\begin{aligned} Z_t &= E_0 \cos(\omega t) / I_0 \cos(\omega t + \phi) = E_0 / I_0 (\cos(\omega t) / \cos(\omega t + \phi)) \\ Z_t &= Z_0 \cos(\omega t) / \cos(\omega t + \phi) \end{aligned}$$

Donde:

E_0 = amplitud del voltaje de excitación

I_0 = amplitud de la corriente de excitación

$\omega = 2 \times \pi \times \text{Frecuencia}$

T = Tiempo

$Z_0 = E_0 / I_0$ = módulo de la impedancia

O empleando la relación de Euler

$$\exp(j\phi) = \cos(\phi) + j \sin(\phi)$$

$$E_t = E_0 \exp(j\omega t)$$

$$I_t = I_0 \exp(j\omega t - \phi)$$

Por lo tanto podremos expresar la impedancia como:

$$\begin{aligned} Z(\omega) &= E / I = E_0 \exp(j\omega t) / I_0 \exp(j\omega t - \phi) = E_0 / I_0 \times (\exp(j\omega t) / \exp(j\omega t - \phi)) \\ Z(\omega) &= E / I = Z_0 \exp(j\phi) \end{aligned} \quad (2)$$

A partir de esta forma de representación podemos representar la impedancia compleja en términos de módulo Z_0 y fase ϕ en función de la frecuencia, obteniendo el diagrama conocido como Diagrama de Bode (fig.).

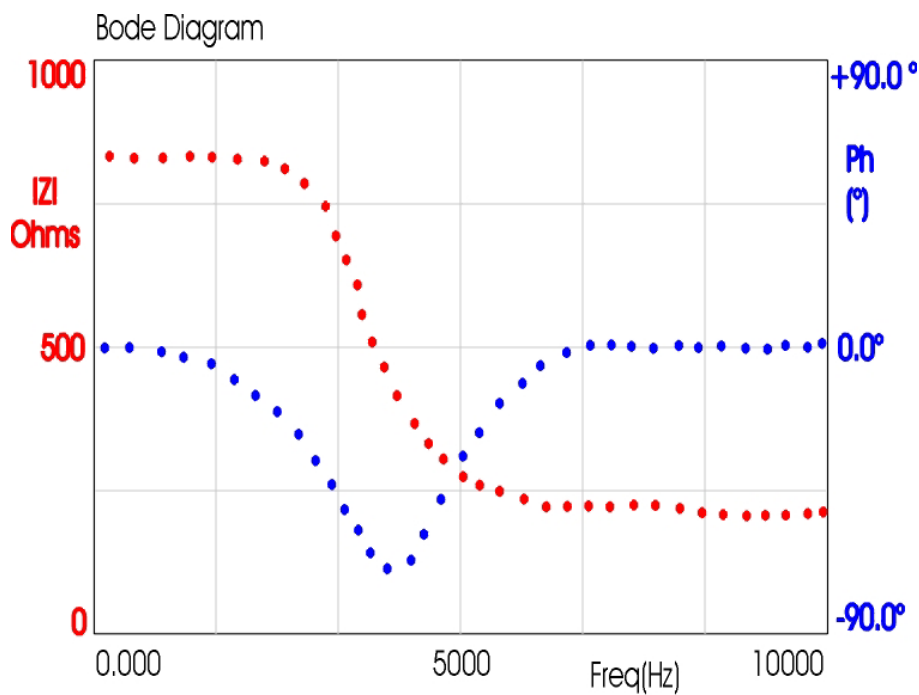


Fig.

De la expresión (2) también podemos representar la impedancia en termino de parte real e imaginaria de la siguiente manera:

$$Z_r = Z_0 \cos(\phi)$$

$$Z_i = Z_0 \sin(\phi)$$

Y graficando Z_i (eje Y) en función de Z_r (eje X) obtenemos el diagrama conocido como Diagrama de Nyquist (fig.)

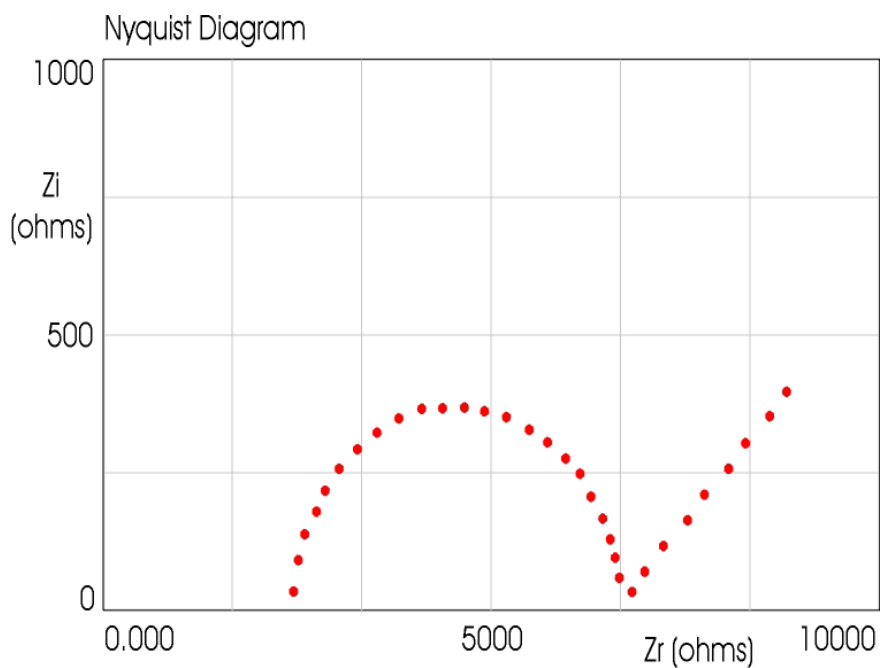


Fig.